

# Humedal artificial de flujo vertical subsuperficial. Impacto de la tubería de aireación en la remoción de coliformes fecales.

Rafael Hurtado Solórzano<sup>1\*</sup>, Irleth S. Segura Estrada<sup>1</sup>, Sandra Vázquez Villanueva<sup>1</sup>.

## Resumen

Los humedales artificiales constituyen una interesante opción para el tratamiento y reúso de las aguas residuales, debido al alto porcentaje de remoción de contaminantes y microorganismos patógenos que remueven. A diferencia de los humedales horizontales, la alimentación de un humedal artificial de flujo vertical subsuperficial (HAFVS) es intermitente, lo que mejora la transferencia de oxígeno y por lo tanto, el medio granular se encuentra en condiciones más oxidadas. Esto permite operar con una mayor carga orgánica (entre 20 y 40 d DBO/m<sup>2</sup>.día), además de que el sistema piloto utilizado cuenta con tuberías de aireación, cuya finalidad es la de mejorar la transferencia de oxígeno en el sistema. El HAFVS piloto, está dividido en dos celdas, con un área total efectiva de tratamiento de 5 m<sup>2</sup> (2.5 m<sup>2</sup> en cada celda) y un tiempo de retención hidráulico (TRH) teórico de 7 días y es alimentado, mediante dos pulsos diarios de 75 L cada uno de agua residual de tipo doméstica. Se estudió la remoción de coliformes fecales (CF) de aguas residuales domésticas en el HAFVS piloto y el impacto que tiene la tubería de aireación en la reducción de estos patógenos.

**Palabras clave:** agua residual, coliformes fecales, flujo vertical, humedal artificial.

## Introducción

Los patógenos humanos son parte de los componentes de las aguas residuales domésticas y su control es uno de las razones fundamentales para el tratamiento de las aguas residuales (Arias *et al.*, 2003). Estos patógenos se estudian a través de bacterias indicadoras de contaminación fecal (coliformes fecales) (García y Corzo, 2008).

Una alternativa a los sistemas convencionales de tratamiento capaz de remover estos patógenos, son los humedales artificiales (HA), los cuales se basan en procesos naturales para la remoción de contaminantes y organismos patógenos, logrando para estos últimos, remociones del orden de 1 y 3 unidades logarítmicas (Kadlec y Wallace, 2008).

Los procesos que intervienen en la remoción de contaminantes y patógenos en los HA son sedimentación, filtración, adsorción (Khatiwada y Polprasert, 1999), degradación biológica, fotosíntesis, fotooxidación y asimilación por parte de la planta (Hernández *et al.*, 2012), procesos que tienen lugar entre la vegetación, suelo y microorganismos presentes en el sistema.

Los HA se han clasificado en humedales de flujo superficial y subsuperficial, estos últimos se clasifican según la circulación del agua en horizontal y vertical. La mayor ventaja de los verticales sobre los horizontales, es su alta capacidad de transferencia de oxígeno.

Este trabajo se centró en determinar el impacto que tiene la tubería de aireación en la remoción de coliformes fecales de un agua residual doméstica por medio de un VSFCW.

---

<sup>1</sup>Subcoordinación de Tecnología Apropriada. Coordinación de Hidráulica, Instituto Mexicano de Tecnología de Agua.

\*Autor de contacto: Coordinación de Hidráulica, Instituto Mexicano de Tecnología de Agua, Paseo Cuauhnáhuac No. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos. C.P. 62550. México. Correo electrónico: [rafael\\_hurtado@tlaloc.imta.mx](mailto:rafael_hurtado@tlaloc.imta.mx)

## Metodología

### Características del humedal

El presente estudio se realizó en un modelo físico experimental de humedal artificial, localizado en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Este HAFVS fue diseñado para tratar el agua residual generada por 4 personas (150 L/día y 200 g/día DBO<sub>5</sub>) y se dividió en dos celdas, con un área total efectiva de 5 m<sup>2</sup> (2.5 m<sup>2</sup> por cada celda) (García y Corzo, 2008; Hoffmann *et al.*, 2011) y un TRH teórico en el sistema de 7 días (Figura 1).



**Figura 1.** Modelo físico experimental de VSFCW.

El lecho de cada una de las celdas del humedal, está dividido en 3 capas de material pétreo con una altura de 30, 20 y 20 cm (ascendente), y diámetros de material de 2, 5 y 20 mm respectivamente (García y Corzo, 2008). Las plantas empleadas en este sistema fueron del género *Scirpus ssp.* (Tule).

Cada celda, cuenta con una red de tubería para la distribución del agua residual, una tubería ranurada al fondo para la recolección del agua y 3 tuberías de aireación (García y Corzo, 2008) (Figura 2), las cuales fueron selladas para la etapa 2 del presente estudio. El humedal se encuentra en un área techada con el objetivo de no tener influencia de variables por precipitación.

El sistema fue alimentado con agua residual de tipo doméstica, la cual proviene principalmente de los servicios sanitarios de los edificios del Instituto, comedor y laboratorios. El agua residual cuenta con una DBO<sub>5</sub> promedio de 142 mg/L y  $1.8 \times 10^4$  NMP/100 mL de CF; dicha alimentación se realiza mediante 2 pulsos diarios (75 L cada pulso) los cuales son controlados mediante un sistema de válvulas que operan de forma manual.

Para la primera etapa de estudio, la determinación de CF se realizó semanalmente durante 5 meses en tres puntos de muestreo del sistema (entrada al humedal y salida de la primera y segunda celda), y fueron cuantificados mediante la técnica de sustrato cromogénico. Para la etapa de estudio dos, se comparó la remoción de CF para el sistema con la tubería de aireación habilitada contra la remoción al sellar la tubería. Conocidos los valores se procedió a determinar la eficiencia de remoción.

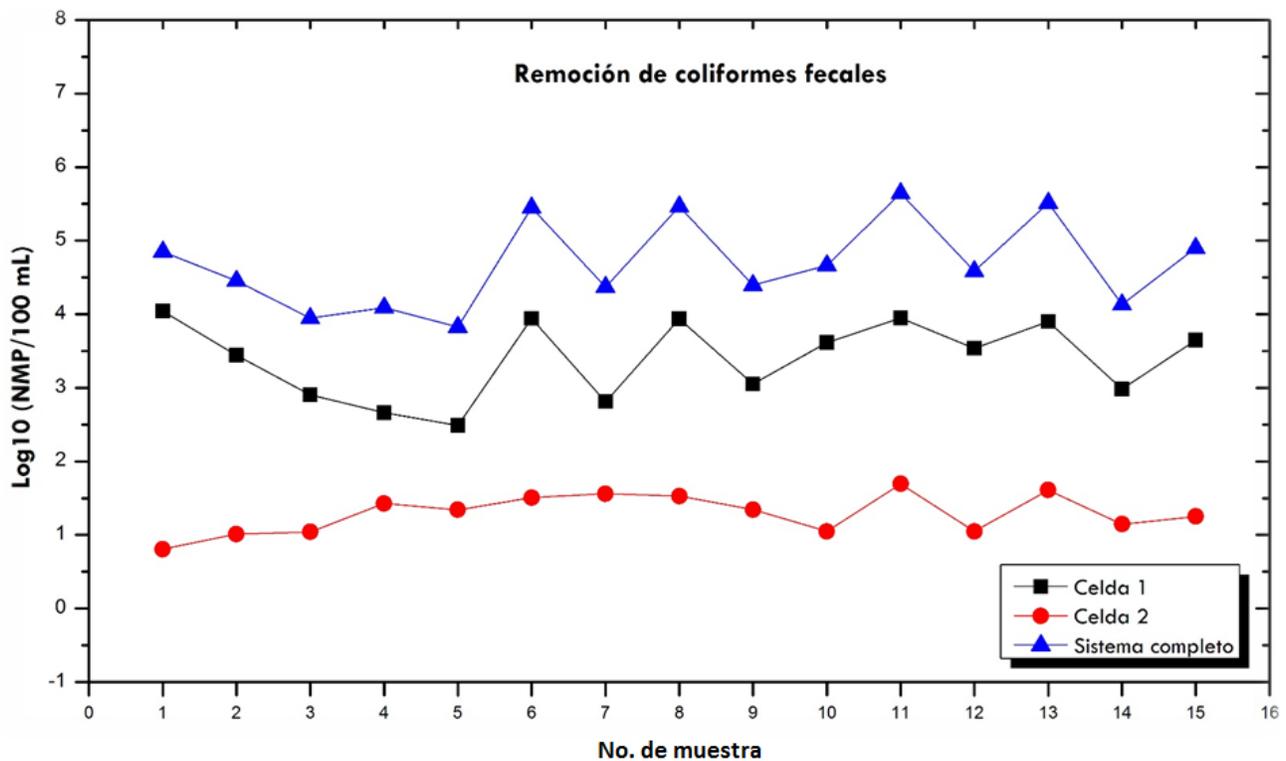


**Figura 2.** Sistema de distribución de agua residual y tuberías de aireación.

## Resultados y discusiones

### Remoción de coliformes fecales

La remoción global promedio de los CF en el humedal fue de 4.5 unidades logarítmicas (99.99%) (Figura 3), por lo que se asume que el sistema tiene buena capacidad para la remoción de este tipo de bacterias indicadoras.



**Figura 3.** Reducción de unidades Log<sub>10</sub> en un VSFCW.

### Remoción en las dos celdas de flujo vertical

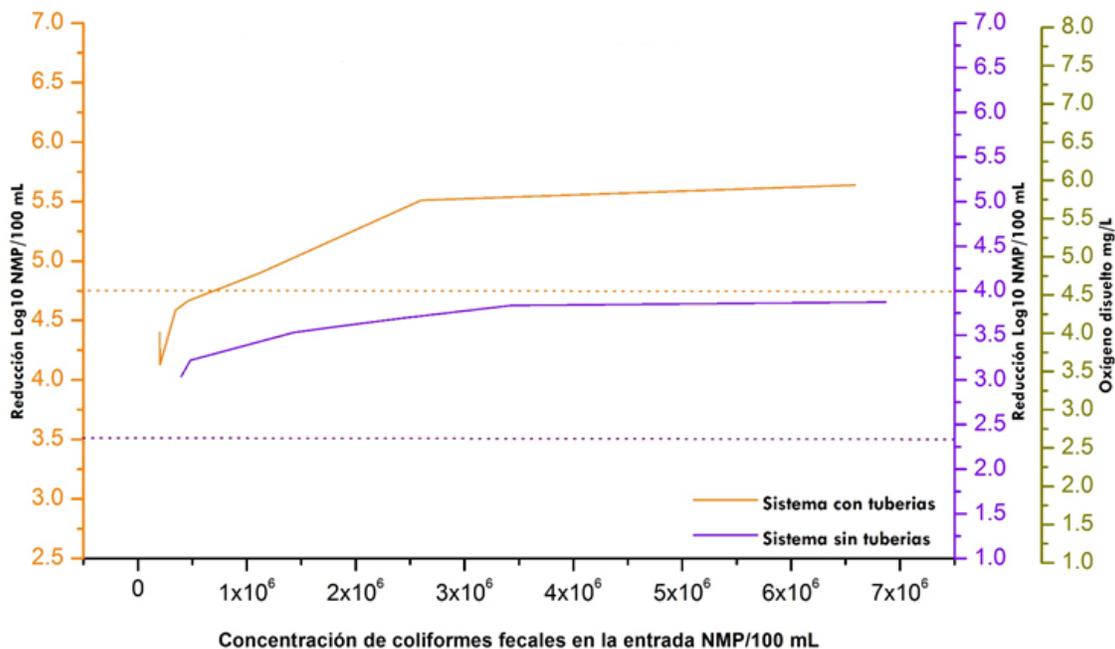
Como se observó en la Figura 3, la remoción de CF fue significativamente mayor en la primera celda que en la segunda celda. En la primera celda se obtuvieron reducciones de 2.5 hasta 3.9 unidades logarítmicas, mientras que en la segunda celda se registraron reducciones del orden de 1 y 1.7 unidades logarítmicas (Tabla 1). La remoción fue mayor a concentraciones más altas de entrada, es

decir, las reducciones más altas se obtuvieron en la primera celda, la cual recibe el efluente sin tratar, en comparación con la segunda celda que recibe el agua tratada por la primera celda (Tabla 1).

**Tabla 1.** Concentraciones de CF en los diferentes puntos de muestreo.

Entrada NMP/100 mL	Salida Celda 1 NMP/100 mL	Reducción Log10	Salida Celda 2 NMP/100 mL	Reducción Log10
1.77E+05	1.53E+02	3.06	6.00	1.41
4.27E+05	1.19E+02	3.55	5.00	1.38
1.21E+04	1.42E+01	2.93	1.00	1.15
9.85E+04	9.58E+01	3.01	7.00	1.14
8.16E+04	9.84E+01	2.92	5.00	1.29
1.98E+06	2.24E+02	3.95	6.00	1.57
2.11E+05	1.02E+02	3.32	4.10	1.39
4.11E+06	4.72E+02	3.94	10.00	1.67
2.00E+05	1.94E+02	3.01	6.00	1.51
4.63E+05	1.12E+02	3.62	4.00	1.45
6.59E+06	7.43E+02	3.95	12.70	1.77
3.47E+04	1.01E+02	2.54	5.00	1.30
2.60E+06	3.26E+02	3.90	8.00	1.61
2.04E+04	2.47E+01	2.92	2.00	1.09
1.12E+06	1.90E+02	3.77	7.20	1.42

Impacto de la tubería de aireación en la remoción de coliformes fecales



**Figura 4.** Remoción de coliformes fecales. Tubería de aireación habilitada vs tubería de aireación inhabilitada.

En la Figura 4 las líneas punteadas horizontales muestran, que el promedio de oxígeno disuelto en el sistema al inhabilitar las tuberías de aireación fue del orden de 2.25 mg/L, en tanto que al habilitar las tuberías éste aumentó hasta los 4.0 mg/L, por lo que la transferencia de oxígeno en el sistema mejoró notablemente al tener tuberías de aireación en el sistema.

En cuanto a la remoción de coliformes fecales, se observa que al no tener tubería de aireación, la reducción de coliformes oscila en promedio las 3.75 unidades logarítmicas. Al habilitar las tuberías de aireación el promedio de reducción aumenta hasta alcanzar las 5.5 unidades logarítmicas. La Figura 4 y los resultados obtenidos muestran, que la remoción de coliformes fecales presenta una disminución del orden de 1.75 unidades logarítmicas al inhabilitar las tuberías de aireación, a partir de estos resultados, podemos inferir que muy probablemente también exista una disminución en la eliminación de materia orgánica y de nitrógeno, debido a que en el proceso de oxidación de la materia orgánica y de patógenos, los microorganismos utilizan O<sub>2</sub> como aceptor final de electrones.

## Conclusiones

Los coliformes fecales, se eliminan eficazmente por medio de humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical, alcanzando remociones del 99.99%.

En la celda 1 se lleva a cabo principalmente la remoción de las bacterias indicadoras, por lo que se recomienda hacer un análisis más profundo en cuanto a su dimensionamiento.

Las tuberías de aireación proporcionan mayor cantidad oxígeno en el sistema, propiciando mayores condiciones aerobias y favoreciendo la remoción de coliformes fecales, por lo que se concluye que el impacto de ellas en el sistema, es positivo.

Las tasas de carga hidráulica analizadas en el presente trabajo son bajas comparadas con las tasas que utilizan los sistemas a gran escala, por lo tanto, todavía queda por estudiar y conocer si al aumentar la carga hidráulica de entrada, la concentración de salida alcance valores similares de remoción y si el impacto de las tuberías de remoción es tan significativo como el obtenido en el presente estudio.

La concentración de salida de CF cumple con los criterios normativos establecidos en México para descarga de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (NOM-001-SEMARNAT-1996).

## Referencias bibliográficas

- Arias C., Cabello A., Johansen N. (2003) Removal of indicator bacteria from municipal wastewater in an experimental two-stage vertical flow constructed wetland system, *Water Science and Technology*, **48** (5), 35–41.
- García J., Corzo A (2008) Depuración con Humedales Construidos. Guía práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad de Cataluña, 98 pp.
- Hernández J., Pérez M., Domínguez E., Cachaldora I. (2012) Humedal Subsuperficial Vertical para el Tratamiento de Aguas Residuales: Diseño, Construcción y Evaluación, *Revista Cubana de Química*, **24** (2), 147-154.
- Hoffmann H., Platzer C., Wiker M., Muench E. (2011) Technology review of constructed wetlands subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment, Federal Ministry for Economic Cooperation and Development. Germany, 38 pp.
- Kadlec R., Wallace S. (2009) *Treatment Wetlands*, 2a ed., 1015 pp.
- Khatiwada N., Polprasert C. (1999) Kinetics of fecal coliform removal in constructed wetlands, *Water Science and Technology*, **40** (3), 109–116.